

# **PROPUESTA PARA LA INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES EN UNA GRÚA**



## **AUTOR**

**JEFRY BERNARDO VÉLEZ GUERRERO**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

## **INGENIERO CIVIL**

Directora:

**MARGARITA ROSA PÉREZ CASTRO**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA**

**PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ, 10 DE MAYO DE 2021**

## **Propuesta para la instalación de paneles solares en una grúa torre para la alimentación de luminarias en una obra civil.**

**Application of solar panels in a tower crane to supply lighting fixtures in a civil work.**

**Jefry Vélez Guerrero**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**Universidad Militar Nueva Granada**  
**Carrera 11 # 101 – 80, Bogotá – Colombia**  
**d7303078@unimilitar.edu.co**

### **Resumen**

Este documento muestra la viabilidad teórica de la utilización de un sistema fotovoltaico instalado en una grúa torre con el fin de alimentar las luminarias en una obra civil y así mismo, generar energía de respaldo para la grúa torre. Para esto se describe el montaje del sistema fotovoltaico que cuenta con paneles solares de silicio instalados de sobre la pluma de una grúa torre Jaso J420, baterías, cableado, inversor, regulador, baterías para el acopio de la energía y luminarias, generando el presupuesto del montaje para establecer su viabilidad económica, los impactos ambientales que pueda generar el sistema y el mantenimiento de este.

**Palabras clave:** energía solar, ingeniería civil, grúa torre, eficiencia energética.

### **Abstract**

This document shows the theoretical feasibility of using a photovoltaic system installed in a tower crane to feed the luminaires in a civil works and generate backup energy for the tower crane. This describes the assembly of the photovoltaic system that has silicon solar panels installed on sides of the boom of a Jaso J420 tower crane, batteries, wiring, inverter, regulator, energy collection batteries and luminaires, generating the assembly budget to establish its economic viability, the environmental impacts that the system can generate and the maintenance of the system.

**Key Words:** Solar Energy, civil engineering, tower crane, energy efficiency.

## 1 Introducción

¿Qué pasaría si se acaban los combustibles fósiles a la mitad de la ejecución de una obra civil y no hubiese un abastecimiento cercano?

¡Es tal vez un poco exagerado este evento!; podría ser una opinión razonable, sin embargo, es tarea de la ingeniería civil detallar cada una de las posibles situaciones que puedan truncar la ejecución de un proyecto dentro de sus términos ideales, no obstante, es común pasar por alto la eventualidad de la falta de combustibles.

Actualmente, el desarrollo de muchas de las actividades que se realizan dentro de una obra civil conlleva la aplicación de combustibles fósiles, desde el transporte de materiales, maquinarias y personal, hasta las tareas desarrolladas con máquinas especializadas, por esto urge la necesidad de hallar una forma secundaria para la generación de energía.

Por el gran calado de las máquinas y sus requerimientos energéticos es difícil (con la tecnología actual) por ejemplo, poder migrar una retroexcavadora del funcionamiento por combustión de Diesel a funcionar con paneles solares, pero es aplicable la generación fotovoltaica a los requerimientos de iluminación en una obra civil, lo que permitiría, dejar de lado los generadores de energía eléctrica con combustible y así restar un ítem de la dependencia de hidrocarburos, esto sería posible al incluir paneles fotovoltaicos a lo largo de la pluma de la(s) grúa(s) torre que se utilice(n) durante la ejecución de una construcción.

## 2 Importancia de la Energía eléctrica

La energía eléctrica se ha vuelto un servicio básico para la calidad de vida, sin embargo, cada día es más difícil suplir esta necesidad por el acelerado crecimiento de la población, entonces: **¿Cómo solventar la necesidad de electricidad que día a día es mayor?** No es un secreto afirmar que recientemente la humanidad se ha enfocado en esta pregunta, logrando así obtener energía de fuentes que no habían sido consideradas. Incluso, hoy en día es posible generar energía eléctrica de los vientos gracias a los generadores eólicos. También es factible la energía undimotriz, es decir, extraerla de las olas del mar. La tecnología es tan amplia que del calor que genera la tierra (geotérmica) se puede extraer energía y, por supuesto,

no hay que dejar de mencionar la energía solar (fotovoltaica). En esta última se centrará la hipótesis de implementación en la actividad constructiva.

Uno de los factores más importantes para la ingeniería civil y su desarrollo se basa en la optimización de recursos tanto económicos como en especie, dado que “la proyección de los flujos de recursos, corresponde a gastos operacionales y costos de gestión de abastecimiento, permitiendo establecer planes óptimos de pedido y pago de proveedores” (Zamora et al., 2017). Lo anterior es indispensable para establecer obras durables y eficientes, ya sea una simple acera hasta grandes proyectos de infraestructura como viaductos, túneles, represas, etc.

Conforme evoluciona la humanidad, las obras civiles han tomado nuevos alcances, trayendo consigo nuevas comodidades que se han vuelto inherentes para el subsistir de las sociedades. Una de ellas es la energía eléctrica como servicio, ya sea domiciliario, industrial o comercial. Es tal su importancia que hoy en día se asocia como un factor de primera necesidad para las interacciones del ser humano. Sin embargo, con el crecimiento demográfico y el desarrollo de grandes metrópolis existe la posibilidad del desabastecimiento de este servicio, generado por los medios tradicionales como las termoeléctricas o plantas nucleares.

Es oportuno señalar que las plantas termoeléctricas dependen de combustibles fósiles como carbón, mientras que las plantas nucleares utilizan uranio, ambos elementos son extraídos de bancos minerales ocasionando fuertes impactos al equilibrio del medio ambiente. Desde su extracción, combustión y fusión, respectivamente, estos dos tipos de energía convergen en que no son fuentes infinitas y, asimismo, la creciente demanda de energía eléctrica los encamina a su pronta desaparición.

Debido a que los recursos disponibles disminuyen respecto a la creciente demanda (Devés, 2011), se ha innovado en nuevas formas de generar energía de forma más eficiente. En conjunto con las centrales termoeléctricas y nucleares, se hallan las centrales hidroeléctricas, las cuales basan su funcionamiento en aprovechar la energía que producen las corrientes de agua en los ríos, esta es una fuente de electricidad más amigable con el planeta comparada con las anteriores opciones, pero tiene una limitación de gran importancia, dado que el flujo de agua a lo largo de un año no es constante y en épocas de sequía no es posible

lograr la generación de energía por este medio. Por lo tanto, la energía solar es el puntal de las energías limpias y, por consiguiente, está convocada a electrificar al planeta, procurar la seguridad energética de las naciones y proteger el ambiente (Hidalgo, 2015).

## **2.1 ¿Qué es la energía fotovoltaica?**

Este tipo corresponde a la energía (ilimitada y gratuita) que es transmitida por los rayos solares hacia la tierra, la cual se canaliza por medio de paneles solares generalmente de silicio. Estos rayos se direccionan, en la actualidad, a baterías de iones de litio, cuya función es la retención de esta energía. Todo este proceso es necesario para así poder utilizarla en el hogar, la industria o el comercio.

## **2.2 ¿Cómo se enlaza la energía eléctrica con la ingeniería civil?**

En el desarrollo de cualquier obra civil se utiliza maquinaria que por lo general trabaja con energía eléctrica o con combustibles fósiles. Dentro de este grupo se destaca el uso del diésel, siendo uno de los insumos más recurrentes dentro del desarrollo de cualquier actividad, por ejemplo, el simple hecho de transportar una maquina al sitio de trabajo en una tractomula. En esa simple acción se involucra una gran cantidad de dicha combustión, así como de lubricantes derivados del petróleo para el buen funcionamiento del automotor. Pero hay más: la mayoría de las maquinarias de construcción (dragas, mezcladoras, retroexcavadoras, excavadoras, bulldozers, vibro compactadoras, tractores, pavimentadoras, motoniveladoras, volquetas y montacargas) utilizan diésel.

Esta larga lista de equipos pesados hace uso a gran escala de combustible por las extensas jornadas de trabajo a las cuales deben responder. Sumado a este fenómeno se adhieren maquinarias de menor envergadura que funcionan por medio de un alto consumo de energía eléctrica, por ejemplo, mezcladoras tipo trompo, taladros, vibro compactadores, apisonadores, pulidoras, demoledores y grúas.

Como se indicó al inicio, el principal precepto de la ingeniería civil es la optimización de recursos, es notorio que en la maquinaria empleada en la ejecución el precepto es poco aplicado. Por lo mismo, es fundamental evaluar la forma de enlazar la energía fotovoltaica en

el desarrollo de las actividades de la construcción, que hasta el momento no se han realizado por falta de avances tecnológicos.

Aunque no sería factible remplazar los motores Diesel por sistemas fotovoltaicos en las máquinas de gran calado, en los equipos de menor calado se podría implementar su alimentación por medio de sistemas de energía solar. De ahí se plantea que en las obras donde se utilice una o varias grúas torre, su estructura se use para instalar paneles con seguidores solares, inversor, regulador y un conjunto de baterías para el acopio de la energía captada. El diseño de este proyecto se debe enfocar a la autosuficiencia (no necesite conectarse a red eléctrica o usar motores de combustión) de la grúa torre y se genere energía adicional para la alimentación de los demás aparatos eléctricos de uso manual dentro de la construcción. Considerando esta propuesta, se pueden incluir luminarias tipo led (de bajo consumo eléctrico) conectadas a una red fotovoltaica (según la cantidad de grúas o el área disponible en la obra para la colocación de paneles solares adicionales).

Teniendo en cuenta que la ingeniería pretende optimizar los recursos, la implantación de tecnologías como la generación de energía eléctrica basada en la producción fotovoltaica, ayudaría a cumplir ese precepto. En suma, esto aligeraría los gastos de presupuesto en consumo eléctrico, dado que las instalaciones fotovoltaicas son de fácil instalación y, al mismo tiempo, poseen gran resistencia y durabilidad. Cabe añadir que la mayoría de los fabricantes de paneles solares de silicio, garantizan una vida útil de su producto en un promedio de 25 años. Si bien es cierto que la inversión inicial requiere un capital considerable, este se recuperará en la reducción del consumo de energía eléctrica convencional y en la larga vida del sistema.

En la actualidad, países del primer mundo han apuntado a la generación de energías de fuentes renovables. En el caso de la energía solar, Alemania y España repuntan en la producción con un promedio entre 2 y 3 kWh/m<sup>2</sup> registrados (Chamorro et al., 2015). A pesar de contar con radiaciones bajas a lo largo del año (solo en la temporada de verano se constituye la época en que mayor radiación es aprovechada), muchos hogares en estos países se abastecen de esta forma. Con estos casos concretos se afirma la eficiencia del sistema fotovoltaico. Incluso, a pesar de la llegada del invierno –donde la radiación solar alcanza su pico más bajo– estas viviendas no se ven desabastecidas de energía eléctrica para su diario vivir.

En el caso puntual de Colombia, se cuenta con varias instalaciones que aprovechan la energía solar como Celsia Solar Yumbo con una capacidad instalada de 9.8 MW, la cual produce cerca de 16.5 GW año. Otro es Solargreen, ubicado en la región de Urabá, Antioquia, el cual cuenta con una capacidad instalada de 500 KW (Medina y Venegas, 2018). Debido a su posición geográfica privilegiada, Colombia tiene una radiación promedio de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>. Sectores como la península de la Guajira y la Orinoquia poseen un valor promedio cercano al 6,0 kWh/m<sup>2</sup> (Chamorro et al., 2015); Bucaramanga, una ciudad intermedia de gran desarrollo, tiene el 91,3 % de la energía anual correspondiente a la media de la Costa Atlántica y el 103,4% de la media de la zona andina (Vergara et al., 2014). Sin duda, estas cifras corroboran el gran potencial para la implementación de sistemas fotovoltaicos enfocados en la ejecución de obras civiles en el país.

No se puede dejar de mencionar que la Ley 1715 de 2014 reglamenta el uso de fuentes no convencionales de energía, lo que, en la práctica, instaura un piso jurídico al uso de este recurso. Estos son algunos beneficios indispensables para aplicar este tipo de energía, lo que ayudaría a solventar las necesidades de miles de familias que no tienen servicio de energía eléctrica convencional o, si lo poseen, es deficiente, como es el caso de la Costa Caribe.

Uno de los precedentes en la utilización de energía fotovoltaica a nivel industrial en Colombia es el caso de Comestibles Italo, quien cuenta con 1080 paneles solares con capacidad para generar 490 MWh de energía al año (lo que equivale al consumo mensual de 3300 hogares colombianos) (Enel X, 2018). En esta institución se destaca la utilización de la energía solar para dos acciones concretas: el secado de alimentos en cuanto al proceso de conservación o, por el contrario, el remplazo de combustibles fósiles para la navegación. En cuanto al primer proceso se necesita gran cantidad de energía, combatiendo dos frentes importantes para la sostenibilidad: 1) eficiencia energética y 2) conservación de alimentos para reducir sus desperdicios. Esto es clave, puesto que Colombia se posiciona como uno de los países con mayor producción de frutas y hortalizas en Latinoamérica y, aproximadamente, desperdicia el 58 % de esta productividad (García et al., 2018). Otro escenario posible es prescindir en más del 90 % del uso de petróleo, implementando así tecnologías con energías limpias. (Ascencio et al., 2019).

Tal vez una de las dificultades que conlleva la aplicación de sistemas fotovoltaicos radica en la ausencia de luz solar en las horas pico de consumo. En la práctica, esto implica tener que almacenar la energía captada y, en la actualidad, este almacenamiento se lleva a cabo en baterías compuestas por celdas de iones de litio que ocupan áreas considerables. Esto también depende de la necesidad de recolección de energía, lo que también conlleva a un problema si los lugares donde se realizan las obras civiles son limitadas. Si se analiza desde el ángulo de los costos, las baterías son los componentes de mayor precio dentro de un sistema fotovoltaico. Sin embargo, en la actualidad se realizan estudios que buscan usar esta energía para la generación de hidrógeno, el cual actúa como vector energético, capaz de almacenar y transportar la energía proveniente de fuentes renovables. Esto es posible puesto que su densidad energética es mayor que la de los combustibles fósiles y, además, puede ser empleado como materia prima en pilas de combustible y no emite gases de efecto invernadero (Muñoz, 2015).

El panorama es alentador por diversos factores, por ejemplo: la creciente conciencia de conservación, consumo sustentable de recursos, los cambios en la generación de energía hacia fuentes sustentables. Todo lo dicho está dado por un cambio de mentalidad en pro de la conservación del medio ambiente (Giraldo et al., 2018). Son más los beneficios, puesto que los impactos negativos más significativos en la generación de energía mediante sistemas fotovoltaicos fueron clasificados como moderados, alcanzando niveles de importancia máximos de 28 puntos sobre 100 posibles (Pasqualino et al., 2015). Ahora bien, desde la perspectiva económica el costo invertido inicialmente se recupera de corto a mediano plazo.

Luego de evaluar sus características, se deja entrever que esta forma de inversión genera muchas ventajas para una empresa de construcción, puesto que es posible hacer ahorros tanto en los gastos de la empresa, incrementando las ganancias netas de bienestar de las actividades económicas mediante la reducción de la utilización de los recursos (Moran, s.f.). No solo es rentable para la empresa, sino para el medio ambiente desde tres aspectos: control del consumo de recursos, reducción y minimización de las emisiones contaminantes y, desde luego, correcta gestión de los residuos que se producen a lo largo del proceso constructivo. Por lo anterior se puede afirmar que el recurso de las emisiones contaminantes es posible de



alivianar mediante el uso de la energía fotovoltaica con tan solo un cambio: la modificación de diésel a una producción y consumo responsable.

### 2.3 Aplicación de sistema fotovoltaico en una grúa torre

De entrada, la aplicación de sistemas fotovoltaicos en el desarrollo de obras civiles es limitada, dado que la generación fotoeléctrica depende de la captación de energía solar mediante paneles que deben estar en posición óptima para la recepción de los rayos solares. Por lo tanto, en la mayoría de las maquinarias pesadas no es posible su aplicación, puesto que están en constante movimiento y, a su vez, están expuestas a sombras y al contacto con sustancias como barro, arena, cemento, lodos, concreto, etc. Podría insinuarse que estas variables por el momento las dejan fuera del campo de aplicación, pero hay una máquina fundamental empleada en la construcción que se debe tener en cuenta: las grúas, en específico, la torre grúa. A diferencia de las demás maquinarias pesadas, esta es estática y, en general, cuenta con secciones que están fuera del alcance de los agentes ensuciadores anteriormente nombrados. Por otra parte, esta herramienta permanece largos periodos de tiempo en el mismo lugar y en caso de una construcción vertical (edificios) prácticamente durante toda la ejecución de la obra civil.

El planteamiento de la aplicación consiste en la colocación de paneles con seguidores solares soportados de los costados de la pluma para no interferir con la visión del operador ni con el normal funcionamiento de los tirantes en la parte superior de la pluma y contra pluma. Así pues, debido a la variedad de longitudes de pluma que se pueden utilizar en la torre grúa, se definirá un sistema fotovoltaico para una grúa torre con una longitud de pluma de 270 pies (82 296 m), dimensión de pluma común (Peurifoy et al.,2018). Con esta longitud se puede definir la cantidad de paneles que se podrán sujetar de la pluma.

Para el cálculo de la cantidad de paneles posible se toma como referencia el panel solar policristalino de 320w marca Powest cuyas características se describen en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Panel solar.*

---

**Especificaciones técnicas panel solar**

---

Tipo de módulo.	Policristalino
Potencia Máxima (W).	320
Tolerancia (%).	+/- 3
Voltaje de circuito abierto (V).	46
Cortocircuito corriente (A).	9.18
Tensión máxima de alimentación (V).	42.2
Potencia máxima de corriente (A).	7.37
Eficiencia (%).	19.2
Serie de fusible (A).	15
Caja de terminales.	IP65
Máxima tensión del sistema (V).	DC 1000
Temperatura de funcionamiento (°C).	-40 a 85
Peso (kg).	21.5
Celdas solares.	72
Altura (m)	1.96
Ancho (m)	0.99
Profundidad (m)	0.04
Cable	LAPP (4mm <sup>3</sup> )
Distancia de cable (mm).	900
Conector	MC Plug Type IV (MC4)
Calificaciones y certificados.	IEC 61215, IEC 61730, CE, MCS, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, PV Cycle, SA 8000

*Nota: características panel solar.* Fuente: elaboración propia. Información tomada de la ficha técnica del panel solar

Para determinar la cantidad de paneles que se deben usar en la instalación, se procede a dividir la longitud de la pluma (82 296 m) en la altura del panel (1.96 m). En este sentido, el resultado debe redondear al número entero inmediatamente anterior y se multiplica por 2. Así:

$$No. Paneles por lado = \frac{82.296 m}{1.96 m} = 41.98 \approx 41$$

Formula 1: número de paneles por lado

$$No. Paneles total = 41 * 2 = 82$$

Formula 2: número de paneles total

Los cuales estarán conectados en serie produciendo una energía de 96,86 Kw/h al día con una tensión de 48V. Claro está, teniendo en cuenta que se calcula los meses de menor

luminosidad en Bogotá, el valor promedio de horas de sol al día en abril y mayo es de 3.5, siendo el más bajo según el Atlas solar Ideam.

Posterior a este cálculo es necesario integrar un sistema de regulación cuya intensidad mínima corresponda a 625 A. Por lo tanto, se realiza una con una conexión en serie de 8 reguladores Flexmax 80 cuyas características se describen en la Tabla No. 2

**Tabla 2.**

*Regulador*

<b>Especificaciones técnicas regulador</b>	
Voltaje nominal de batería (VDC).	12, 24, 36, 48 o 60
Corriente máxima (A)	80
Placa de identificación STC de matriz solar máxima recomendada por NEC.	Sistemas de 12 V DC: sistemas de 1000 W / 24 V DC: 2000 W Sistemas de 48 V DC: sistemas de 4000 W / 60 V DC: 5000 W
Eficiencia de conversión de energía.	97.5 %
Pico de eficiencia.	Entrada de 60 V DC con batería de 48 V a 53,1 V DC (98,44 %)

*Nota: características regulador. Fuente: elaboración propia. Información tomada de la ficha técnica del regulador*

Para el almacenamiento de la energía recolectada es necesario el uso de baterías. En este caso por factores comerciales se usarán baterías sbb GEL 150Ah / 12VDC y, en especial, para esta instalación se necesitarán 180 baterías que se dispondrán en 4 series de 45 unidades en paralelo.

Sumado a estos elementos se debe integrar un inversor cuya potencia mínima sea de 12.36 Kw para el funcionamiento del sistema fotovoltaico. Para el caso presente, se hace uso de un inversor Growatt de 15Kw/48V

Por último, se hace indispensable tener en cuenta cableado y accesorios necesarios para hacer las conexiones del sistema. En el caso de cableado se estiman 250 m de cable Laap de 10mm y, por otro lado, en el caso de accesorios un porcentaje del 2 % del valor total del sistema por este rubro.

Este montaje corresponde a un sistema de respaldo para la operación de la grúa torre, estimando una maquina como la torre grúa Jaso J420 cuya potencia total puede llegar a los

151 Kw. Con este sistema de respaldo podría funcionar alrededor de 40 minutos en el peor de los casos, es decir, en los días menos soleados de los meses de abril y mayo.

Por otra parte, si este sistema se aplicara a las luminarias que se puede usar en una obra civil, por ejemplo, si se usaran 16 reflectores Silvania LED Proyector Sylveo Pro 400W (Proyector led.) consumirían 6.4Kw/h. En la práctica, esto permitiría que la energía captada por los paneles solares alimentara estas luminarias durante 12 horas, lo que corresponde en promedio al tiempo de oscuridad de un día.

**Tabla 3.**

*Presupuesto de sistema fotovoltaico*

Producto	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Panel sola Powest 320W.	82	\$510 000	\$1 020 000
Regulador Flexmax 80.	8	\$2.687 990	\$21 503 920
Batería sbb GEL 150Ah / 12VDC.	180	\$750 000	\$135 000 000
Inversor Growatt 15Kw/48V.	1	\$4 870 745	\$4 870 745
Cable Laap de 10mm.	250	\$10 132	\$2 533 000
Accesorios e instalación.			\$3 298 553
<b>TOTAL</b>			<b>\$168 226 218</b>

*Nota: características panel solar.* Fuente: elaboración propia. Información tomada de la ficha técnica del inversor

**Tabla 4.**

*Presupuesto de sistema fotovoltaico con iluminación*

Producto	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Panel sola Powest 320W.	82	\$510 000	\$1 020 000
Regulador Flexmax 80.	8	\$2 687 990	\$21 503 920
Batería sbb GEL 150Ah / 12VDC.	180	\$750 000	\$135 000 000
Inversor Growatt 15Kw/48V.	1	\$4 870 745	\$4 870 745
Cable Laap de 10mm.	250	\$10 132	\$2 533 000
LED Proyector Sylveo Pro 400W.	16	\$2 697 000	\$43 152 000
Accesorios e instalación.			\$4 161 593
<b>TOTAL</b>			<b>\$212.241.258</b>

*Nota: características panel solar.* Fuente: elaboración propia. Información tomada de la ficha técnica del panel solar

En las tablas 3 y 4 se puede ver un desglose de los presupuestos tentativos a invertir en los dos casos de estudio. Dichos sistemas tienen una vida útil promedio de 20 años, salvo por las luminarias, cuya vida útil corresponde a 100 000 horas. No obstante, es una vida útil

prolongada si se estima el periodo de retorno de la inversión. De este modo, bajo la tabla de tarifas de Enel Codensa de enero de 2020 el valor promedio de Kw/h es de \$537,149 (Tarifario, 2020). En el caso de la tarifa nivel 1 propiedad de Codensa para oficial e industrial sin contribución, es decir, que si se toma este valor y se multiplica por los Kw/h que genera el sistema (96,86 Kw/h) se tendría un valor de ahorro diario de \$52.028,25. En tal caso, con el resultado de la Tabla 3 se tendría un periodo de retorno que correspondería a 8,86 años, mientras que en el caso de Tabla 4 tendría un periodo de 11,18 años.

## **2.4 Mantenimiento**

En cuanto al mantenimiento, como todo sistema, requiere mantenimiento preventivo y correctivo, puesto que la vida útil del sistema ronda los 20 años y difícilmente se ejecutará una obra que tome tanto tiempo en su ejecución. Se puede afirmar que habría que contar solo con el mantenimiento de prevención que es necesario hacerse al menos una vez al año y tendrá un costo mensual por usuario de \$42.300, el cual constará de las siguientes acciones: limpieza de paneles; ajuste de terminales y conexiones; chequeo del nivel de carga del banco de baterías y demás equipos; recopilación de la información almacenada en el regulador e inversor; y aforo de la carga del usuario (Rincón, 2018).

En otras palabras, en el año 2018 el costo por mantenimiento preventivo correspondía a \$507.600, ahora bien, hay que tener en cuenta que el mantenimiento corresponde al de una instalación eléctrica cualquiera, por lo tanto puede ser realizado por el o los electricistas involucrados en una obra civil.

Barrera y Castilla (2018) proponen las siguientes tareas a realizar para el mantenimiento preventivo:

- Limpieza de paneles: (3 a 4 veces) por año dependiendo la cantidad de polvo de la zona.
- Inspecciones Visuales: (mensual – bimensual) para detectar daños en los paneles, instalaciones eléctricas y estructuras.

- Inspección de conexiones eléctricas: (anual) para detectar filtraciones, sulfatación u oxidación, aumento de temperaturas máximas de operación y estanqueidad.
- Lectura de datos archivados y de memoria de fallos del inversor: (mensualmente).
- Limpieza, verificación y/o cambio de filtros y rejillas de entradas y salidas de aire (semestral).
- Revisión de funcionamiento de dispositivos de protección
- Mantenimiento de baterías: (mensual) realizar limpieza de la cubierta superior con grasa antioxidante, comprobar el estado y la capacidad de la batería.
- Sustitución preventiva de elementos y componentes por vida útil finalizada.
- Revisión de paradas de emergencia y sistemas de alarmas de cada equipo.
- Inspección de etiquetas de indicadores de advertencia y peligro, si es necesario reponerlas.

## **2.5 Impacto Ambiental**

El componente principal de la instalación son los paneles fotovoltaicos, cuya fabricación representa los principales impactos a lo largo del ciclo de vida de la instalación. La producción de 1 kWh de energía fotovoltaica tiene asociadas unas emisiones de 81,2 g CO<sub>2</sub> equivalentes, así como el consumo de 9,35 litros de agua, aproximadamente 95 % de los cuales se asocian al proceso de fabricación de las celdas de silicio (Pasqualino et al., 2015). Inversamente a esto hay que tener en cuenta que el silicio es el segundo elemento en abundancia en la tierra y no es toxico, al momento de su instalación si se comparan los sistemas fotovoltaicos con los sistemas de generación tradicionales como los combustibles fósiles, su impacto es abismalmente menor, ya que no generan gases de efecto invernadero y, asimismo, no producen ruido. Lo que significa 0 % en contaminación acústica y su aplicación permite el uso de la energía solar, dado que solo hay que captarla del cielo, a diferencia de la explotación de materias primas fósiles. Como se mencionó, estas afectan gravemente el medio ambiente e, incluso, pueden llegar a contaminar fuentes hídricas y acabar con ecosistemas.

Al hacer el montaje de los paneles solares sobre una grúa torre a lo largo de la pluma se obtiene una superficie de instalación óptima para los paneles fotovoltaicos, lo que permite respetar los ecosistemas, en tanto que no se colocan sobre lecho verde o fuentes acuíferas que interfieran con la fauna y flora de la zona. Esto permite que la instalación esté libre de contaminación y sombras para así optimizar su funcionamiento.

El impacto paisajístico es mínimo, casi nulo, dado que al colocar los paneles sobre la grúa torre genera el mismo impacto visual que esta. Al terminar con el proyecto tanto la grúa como los paneles son desinstalados de la zona, lo que provoca que el paisaje retome su forma.

Otro factor influyente en el impacto ambiental es la disposición final de las baterías una vez cumplen su vida útil, están de deben llevar a lugares especializados de acopio donde se encargan de su correcto desmantelamiento para que los residuos no sean vertidos en el suelo o cuerpos de agua generando contaminación.

### **3 Conclusiones**

Mediante este desarrollo teórico se demostró que la aplicación de la energía solar generada por el sistema fotovoltaico instalado en la grúa torre a las luminarias es eficiente, dado que puede alimentar 8 reflectores de alta luminosidad durante un periodo de 12 horas. Esta cifra representa un ahorro en consumo de la red eléctrica sin depender de un prestador de servicio y los inconvenientes que esto pueda acarrear. Adicionalmente, la aplicación de paneles fotovoltaicos a instalaciones eléctricas tiene un gran potencial para la generación de energía eléctrica, es un campo que está en constante desarrollo, lo que permitirá que a futuro sean sistemas aún más eficientes (energéticamente hablando).

Dentro del ámbito de la ingeniería civil, refiriéndose netamente al proceso constructivo, los sistemas fotovoltaicos aún no cuentan con gran cabida, dado que las maquinarias que se usan requieren gran cantidad de energía para su funcionamiento, evidenciado en el desarrollo de esta hipótesis ya que la energía que se generaría apenas haría funcionar 40 minutos la torre grúa, lo que dejaría al sistema enfocado al respaldo en el caso de un apagón de corto periodo. No obstante, hoy en día se puede ver algunas maquinarias híbridas (A.C.P.M. y electricidad) como maquinas 100 % eléctricas, presentándose como un primer paso para la aplicación y funcionamiento de sistemas fotovoltaicos en este campo.

El mantenimiento del sistema fotovoltaico es mínimo, dado que se debe realizar de forma anual y, asimismo, es de bajo presupuesto para el proyecto en comparación del ahorro en electricidad que un proyecto civil acarrea. De igual forma su reducción en contaminación es representativa, lo que produce una oportunidad de construcción verde en la ingeniería civil.

Con la evolución de la humanidad se han creado herramientas y con el aumento de la complejidad de las tareas estas también han evolucionado, este documento pretende ser un precedente para la evolución de la grúa torre, ya que es una de las herramientas de gran calado más antiguas y que con cada desafío de la construcción ha evolucionado para alcanzar grandes alturas y aun mayores cargas y ahora debe cumplir el desafío de ser mas amigable con el medio ambiente y una forma de hacerlo es la implementación energía solar en primera estancia para iluminar una obra civil y en segunda estancia para su propio funcionamiento.

#### 4 Referencias

- Ascencio, I., Católico, S., Pasqualino, J., & Mendoza, C. (2019). Viabilidad de electromovilidad náutica en el distrito de cartagena-colombia. *Inge-Cuc*, 15(1), 1.
- Barrera, W. & Castilla, F. (2018). propuesta de un sistema fotovoltaico para consumo eléctrico en el municipio de Quebradanegra, Cundinamarca. 47.
- Chamorro, M., Ortiz, E., & Viana, L. (2015). Cuantificación y caracterización de la radiación solar en el departamento de la guajira-colombia mediante el cálculo de transmisibilidad atmosférica. *Prospectiva (1692-8261)*, 13(2), 54.
- Devés, R. (2011). Energía nuclear y medio ambiente. *Trilogía*, 23(33), 85.
- Enel X. (2018). *Comestibles italo, un caso de éxito en energía solar | codensa*. Recuperado de <https://blogempresasenelx.enelcol.com.co/energia-solar/italo-energia-solar/>
- García, P., León, J., Cárdenas, L., & Giraldo, J. (2018). Modelado numérico del proceso de secado solar de manzanas en el municipio de nuevo colón-boyacá. *UIS Ingenierías*, 17(1), 201.
- Giraldo, M., Vacca, R., & Urrego, A. (2018). Las energías alternativas ¿una oportunidad para colombia? . *Revista Punto De Vista*, 9(13), 24.



- Hidalgo, E. (2015). Las energías limpias comienzan a minar el imperio del petróleo. *Debates IESA*, 20(4), 67.
- Medina, S., & Venegas, A. (2018). Energías renovables un futuro óptimo para colombia. *Revista Punto De Vista*, 9(13), 47.
- Moran, M. (s.f.). *Producción y consumo sostenibles*. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- Muñoz, A. (2015). Producción de hidrógeno a partir de energía solar. panorama en colombia. *Revista Elementos (2027-923X)*, 5(5), 95.
- Pasqualino, J., Cabrera, C., & Vanegas, M. (2015). Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el caribe colombiano. *Prospectiva (1692-8261)*, 13(1), 68.
- Peurifoy, R., Schexnayder, C., Schmitt, R., & Shapira, E. (2018). *Tower cranes. Construction planning, equipment, and methods*. New York: McGraw-Hill Education.
- Rincón, M. (2018). *Instalación e implementación de sistemas de energía solar como fuentes alternativas para zonas y comunidades mas apartadas que no cuentan con interconexion electrica*. Universidad de los Llanos. Recuperado de [https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/001/1272/1/RUNILLANOS%20ADN%200097%20INSTALACION%20E%20IMPLEMENTACION%20DE%20SISTEMAS%20DE%20ENERGIA%20SOLAR%20COMO%20FUENTES%20ALTERNAS%20PARA%20ZONAS%20Y%20COMUNIDADES%20MAS%20APATADAS%20QUE%20NO%20CUENTAN%](https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/001/1272/1/RUNILLANOS%20ADN%200097%20INSTALACION%20E%20IMPLEMENTACION%20DE%20SISTEMAS%20DE%20ENERGIA%20SOLAR%20COMO%20FUENTES%20ALTERNAS%20PARA%20ZONAS%20Y%20COMUNIDADES%20MAS%20APATADAS%20QUE%20NO%20CUENTAN%20)
- Vergara, P., Rey, J., Osma, G., & Ordóñez, G. (2014). Evaluación del potencial solar y eólico del campus central de la universidad industrial de santander y la ciudad de bucaramanga, colombia. *UIS Ingenierías*, 13(2), 49.
- Zamora, J., Rocha, J., & Adarme, W. (2017). Coordinación del abastecimiento en proyectos de ingeniería mediante modelos de optimización. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 11(21), 112.